Aula 2

LEI DE COULOMB

Em 1785, o francês Augustin de Coulomb formulou a lei matemática que rege as interações entre partículas eletrizadas, a qual pode ser sintetizada da seguinte maneira:

"A intensidade da força de ação mútua entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa "

Ou seja:

$$F = K\frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

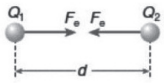
Em que K é a constante eletrostática, a qual depende do meio em que as cargas se encontram. Ela é definida, no SI, por:

$K = \frac{1}{4p\hat{I}}$ $\hat{I}$ corresponde à **permissividade absoluta** do meio.

Na maioria dos exercícios o meio em questão é o vácuo, para tal situação, temos:

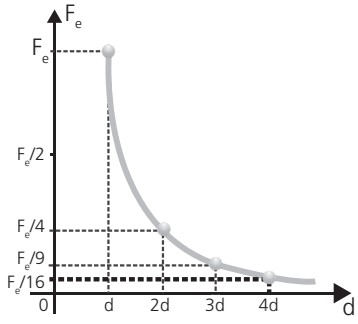
$\grave{o}_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ N^{-1}\ m^{-2}C^2$
$K_0 \cdot 9{,}0 \cdot 10^9\ Nm^2C^{-2}$

A)



B)

Em a), temos cargas de sinais contrários e em b), sinais iguais. Graficamente, a força elétrica em função da distância é dada por:

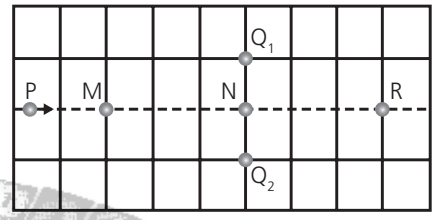


Observações gerais:

- O significado físico de permissividade de um meio será discutido futuramente ao estudarmos Capacitores.
- Observe que o formato da Lei de Coulomb é idêntico à Lei da Gravitação Universal. Essa semelhança irá nos proporcionar várias analogias entre movimentos de cargas e massas, considerando, é claro, as particularidades de cada um.

Exercícios de Fixação

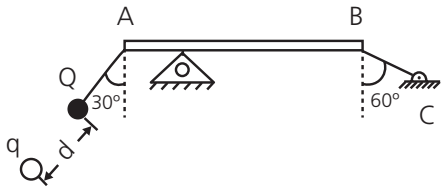
01. Considere o campo elétrico gerado pelas cargas elétricas Q_1 e Q_2, positivas e de mesmo módulo, posicionadas como indica o esquema adiante. Nesse campo elétrico, uma partícula P eletrizada positivamente, submetida somente às forças de repulsão de Q_1 e Q_2, passa, em movimento retilíneo, pelos pontos M, N e R. Nessas condições, o movimento da partícula P é



A) uniforme no trecho de M a R.
B) retardado no trecho de M a N.
C) acelerado no trecho de M a N.
D) retardado no trecho de N a R.
E) uniformemente acelerado no trecho de M a R.

02. Duas pequenas esferas condutoras idênticas estão eletrizadas. A primeira esfera tem uma carga de 2Q e a segunda de 6Q. As duas esferas estão separadas por uma distância d e a força eletrostática entre elas é F_1. Em seguida, as esferas são colocadas em contato e depois separadas por uma distância 2d. Nessa nova configuração, a força entre as esferas é F_2. Pode-se afirmar sobre a relação entre as forças F_1 e F_2, que:
A) $F_1 = 3F_2$
B) $F_1 = F_2/12$
C) $F_1 = F_2/3$
D) $F_1 = 4F_2$
E) $F_1 = F_2$

03. (EsPCEx) O desenho a seguir mostra uma barra homogênea e rígida "AB" de peso desprezível, apoiada no ponto "O" do suporte. A distância da extremidade "B" ao ponto de apoio "O" é o triplo da distância de "A" a "O".
No lado esquerdo, um fio ideal isolante e inextensível, de massa desprezível, prende a extremidade "A" da barra a uma carga elétrica puntiforme positiva de módulo "Q". A carga "Q" está situada a uma distância "d" de uma outra carga elétrica fixa puntiforme negativa de módulo "q".
No lado direito, um fio ideal inextensível e de massa desprezível prende a extremidade "B" da barra ao ponto "C".



A intensidade da força de tração no fio "BC", para que seja mantido o equilíbrio estático da barra na posição horizontal, é de

A) $\frac{K_0 Q q}{2d^2}$

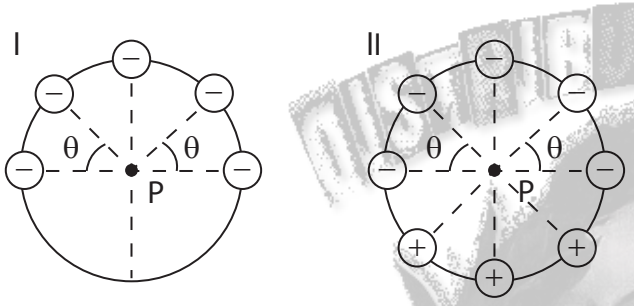
B) $\frac{K_0 Q q}{4d^2}$

C) $\frac{\sqrt{3}\, K_0 Q q}{3d^2}$

D) $\frac{\sqrt{3}\, K_0 Q q}{9d^2}$

E) $\frac{K_0 Q q}{d^2}$

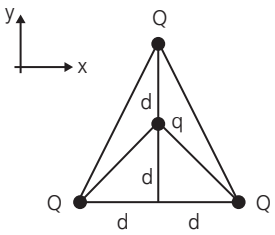
04. Pequenas esferas, carregadas com cargas elétricas negativas de mesmo módulo Q, estão dispostas sobre um anel isolante e circular, como indicado na figura I. Nessa configuração, a intensidade da força elétrica que age sobre uma carga de prova negativa, colocada no centro do anel (ponto P), é F1.



Se forem acrescentadas sobre o anel três outras cargas de mesmo módulo Q, mas positivas, como na figura II, a intensidade da força elétrica no ponto P passará a ser:

A) zero
B) (I/2)F1
C) (3/4)F1
D) F1
E) 2 F1

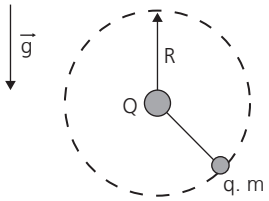
05. Três pequenas esferas carregadas com carga positiva Q ocupam os vértices de um triângulo, como mostra a figura. Na parte interna do triângulo, está afixada outra pequena esfera, com carga negativa q. As distâncias dessa carga às outras três podem ser obtidas a partir da figura.



Sendo Q = 2 × 10^{-4}, q = –2 × 10^{-5} C e d = 6m, a força elétrica resultante sobre a carga q.

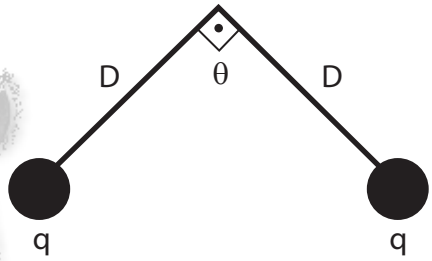
A) É nula.
B) Tem direção do eixo y, sentido para baixo e módulo 1,8 N.
C) Tem direção do eixo y, sentido para cima e módulo 1,0 N.
D) Tem direção do eixo y, sentido para baixo e módulo 1,0 N.
E) Tem direção do eixo y, sentido para cima e módulo 0,3 N

06. Duas cargas elétricas pontuais, Q = 2μC e q = 0,5μC estão amarradas à extremidade de um fio isolante. A carga q possui massa m = 10 g e gira em uma trajetória de raio R = 10 cm, vertical em torno de Q que está fixa.
Sabendo que o maior valor possível para a tração no fio durante esse movimento é igual a T = 11 N, determine o módulo da velocidade tangencial quando isso ocorre.
Dado K = 9 · 10^9 Nm^2 C^{-2}



A) 10 m/s
B) 11 m/s
C) 12 m/s
D) 14 m/s
E) 20 m/s

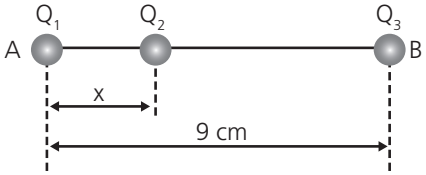
07. (EFomm) q = 2,0 μC estão penduradas em fios não condutores de comprimento D = 30,0 cm, conforme apresentado na figura abaixo. Se o ângulo entre os fios vale 0 = 90°, qual é o valor das massas das esferas?



Dado:
Constante dielétrica: K = 9 × 10^9 Nm^2/C^2
Aceleração da gravidade: g =10 m/s^2

A) 20 g
B) 40 g
C) 60 g
D) 80 g
E) 100 g

08. (AFA) As cargas Q_1 = 9 μC e Q_3 = 25 μC estão fixas nos pontos A e B. Sabe-se que a carga Q_2 = 4 μC está em equilíbrio sob a ação de forças elétricas somente na posição indicada. Nessas condições:



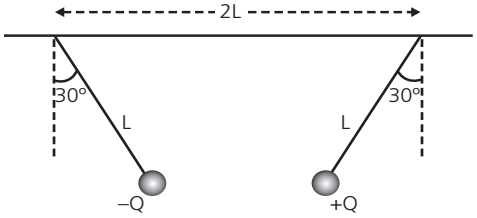
A) x = 1,85 cm
B) x = 2,30 cm
C) x = 3,38 cm
D) x = 4,81 cm
E) x = 5,35 cm

09. (AFA-SP) Uma força elétrica de intensidade F aparece quando duas pequenas esferas idênticas, com cargas 3 C e 9 C são colocadas a uma distância **d**, no vácuo. Quando colocadas em contato e afastadas a uma distância 3d, a nova intensidade da força elétrica, em função de F, será

A) $\frac{2F}{27}$ C) $\frac{7F}{27}$

B) $\frac{4F}{27}$ D) $\frac{8F}{27}$

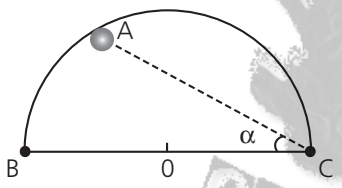
10. (Efomm) Observe a figura a seguir.



Duas esferas iguais estão em equilíbrio e suspensas por dois fios isolantes de mesmo comprimento L = 20 cm, conforme mostra a figura anterior. Sabendo que elas estão carregadas com cargas de sinais opostos, mas de mesmo valor absoluto Q = 2 μC, e que a distância entre os pontos de apoio dos fios é 2 L, qual é o módulo, em newtons, da tração em cada fio?

A) 0,9
B) 1,2
C) 1,6
D) 1,8
E) 2,0

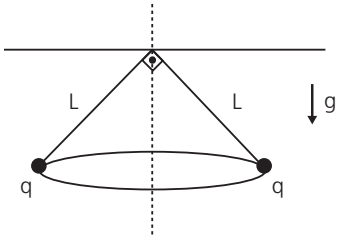
11. (AFA-SP) Uma esfera A, com carga positiva, é mantida em uma região plana e horizontal através de um anteparo semicircular, com extremidades B e C, como mostra a figura.



A esfera pode se deslocar sem atrito. Nos pontos B e C são fixadas pequenas esferas com cargas de 8 μC e 64 μC, respectivamente. A tangente do ângulo α, para o qual a esfera A permanece em equilíbrio, é

A) 0,50
B) 0,40
C) 0,60
D) 0,30

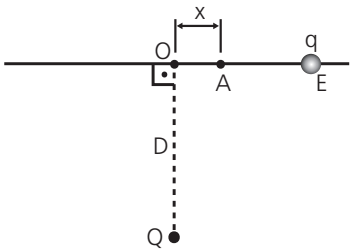
12. Duas pequenas esferas de carga +q e massa 600 g cada, penduradas em cordões de comprimento $L = \sqrt{2}\ m$, giram em movimento circular num plano horizontal com velocidade angular ω = 2rad/s. Sendo g = 10 m/s² a aceleração da gravidade, determine +q (k = 9 · 10⁹ N · m² · C⁻²).



A) 40μC C) 20μC

B) 30μC D) 10μC

13. (AFA) A figura a seguir mostra uma pequena esfera vazada E, com carga elétrica q = + 2 · 10⁻⁵C e massa 80 g, perpassada por um eixo retilíneo situado num plano horizontal e distante D = 3 m de uma carga puntiforme fixa Q = –3 · 10⁻⁶ C.



Se a esfera for abandonada, em repouso, no ponto A, a uma distância **x**, muito próxima da posição de equilíbrio O, tal que, $\frac{x}{D} << 1$ a esfera passará a oscilar de MHS, em torno de O, cuja pulsação é, em rad/s, igual a

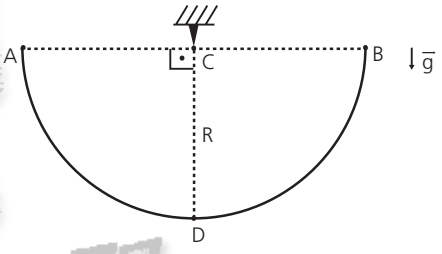
A) $\frac{1}{3}$

B) $\frac{1}{4}$

C) $\frac{1}{2}$

D) $\frac{1}{5}$

14. (AFA) Uma pequenina esfera vazada, no ar, com carga elétrica igual a μC 1 e massa 10 g , é perpassada por um aro semicircular isolante, de extremidades A e B, situado num plano vertical. Uma partícula carregada eletricamente com carga igual a 4μC é fixada por meio de um suporte isolante, no centro C do aro, que tem raio R igual a 60 cm, conforme ilustra a figura a seguir.



Despreze quaisquer forças dissipativas e considere a aceleração da gravidade constante. Ao abandonar a esfera, a partir do repouso, na extremidade A, pode-se afirmar que a intensidade da reação normal, em newtons, exercida pelo aro sobre ela no ponto mais baixo (ponto D) de sua trajetória é igual a

A) 0,20
B) 0,40
C) 0,50
D) 0,60

15. Um corpo condutor foi eletrizado com carga elétrica positiva igual a Q. Após a eletrização, ele é dividido em duas partes, sendo que uma delas com carga **q**. Nesse processo não há perda de carga. Quando colocamos essas duas partes a uma distância **d**, uma repulsão ocorrerá entre elas. Qual deve ser a relação entre as cargas **q** e Q para que a repulsão entre as partes seja máxima?

A) 2
B) 3
C) 4
D) 5
E) 6

Gabarito

1	2	3	4	5
B	A	C	E	E
6	**7**	**8**	**9**	**10**
A	A	C	B	D
11	**12**	**13**	**14**	**15**
A	A	C	B	A

Resolução

01. A resultante horizontal da força sobra a partícula no trecho m → N. Ocasiona um movimento retardado, sendo este inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Resposta: B

02. Início

$q_1 = 2q$

$q_2 = 6q$

$\Rightarrow F_1 = \frac{Kq_1q_2}{d^2} \Rightarrow F_1 = \frac{12Kq^2}{d^2}$

Final

$q_1 = 4q$

$q_2 = 4q \Rightarrow F_2 = \frac{Kq_1q_2}{(2d)^2} \Rightarrow F_2 = \frac{16Kq^2}{4d^2} = \frac{4Kq^2}{d^2}$

$d \rightarrow 2d$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{12Kq^2}{d^2}}{\frac{4Kq^2}{d^2}} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 3 \Rightarrow F_1 = 3F_2$$

Resposta: A

03. Força entre as cargas q e Q

$$F = \frac{KqQ}{d^2}$$

A componente vertical da força será

$$Fy = F \cdot \cos 30^\circ = F \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}\,KqQ}{2\,d^2}$$

Para a barra se manter em equilíbrio estático na posição horizontal, teremos:

$$3Ty = Fy \Rightarrow Ty = \frac{Fy}{3} = \frac{\sqrt{3}\ KqQ}{6\ d^2}$$

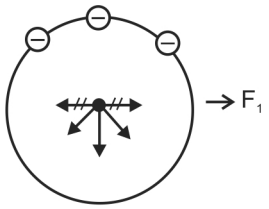
Com isso, a tração será de

$$Ty = T \cdot \cos(60^\circ) \Rightarrow T = 2Ty = \frac{\sqrt{3}\ KqQ}{3\ d^2}$$

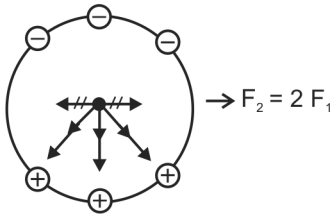
Resposta: C

04.

I. As cargas na extremidade possuem forças de mesma intensidade e direções opostas, se cancelando, sobrando



II.



Resposta: E

05. Para uma das cargas, teremos:

$r^2 = 2d^2$

$r = \sqrt{2}\,d \Rightarrow F_1 = \frac{KQq}{(\sqrt{2}\,d)^2}$

$$F_1 = \frac{q \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-4} \cdot 2 \times 10^{-5}}{(\sqrt{2}\ 6)^2}$$

$$\boxed{F_1 = \frac{1}{2}\ N}$$

Para a carga superior

$$F_2 = \frac{KQq}{d^2} = \frac{q \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-4} \cdot 2 \times 10^{-5}}{6^2} = 1N$$

A força resultante será:

$Fr = 2F_1 \cdot sen(45) - F_2$

$Fr = \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \approx -0,3\ N$

Resposta: E

06.

$T = F_{cp} + F_E + P$

$$F_E = \frac{KQq}{d^2} = \frac{q \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-6} \cdot 0,5 \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2} = \therefore F_E = q \times 10^{-1} N$$

$P = ng = 10 \times 10^{-3} \cdot 10 = 10^{-1}\ N$

$$F_{cp} = \frac{nv^2}{R} = \frac{10 \times 10^{-3} v^2}{10 \times 10^{-2}} = 10^{-1} v^2\ N$$

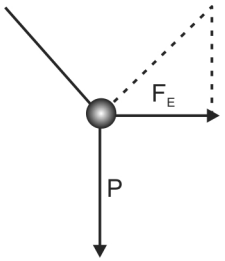
Com isso teremos

$11 = 10^{-1} \cdot v^2 + q \times 10^{-1} + 10^{-1}$

$v = 10\ m/s$

Resposta: A

07.



$$F_E = \frac{Kqq}{r^2} = \frac{q\times10^{9}\cdot4\times10^{-12}}{\left(\sqrt{2}\cdot30\times10^{-2}\right)^2} = 2\times10^{-1}\ N$$

$P = ng = 10\ nM$

Teremos que:

$P\cdot\cancel{\cos}(45) = F_E\ \cancel{\cos}(45)$

$10n = 2\times10^{-1}$

$\boxed{n = 2\times10^{-2} = 20\ g}$

Resposta: A

08.

$$F_{12} = \frac{Kq_1q_2}{r^2} = \frac{9\times10^{9}\cdot9\times10^{6}\cdot4\times10^{6}}{x^2} = \frac{324\times10^{-3}}{x^2}N$$

$$F_{23} = \frac{Kq_2q_3}{r^2} = \frac{9\times10^{9}\cdot25\times10^{6}\cdot4\times10^{-6}}{(4\times10^{-2}-x)^2} = \frac{9\times10^{-1}}{(9\times10^{-2}-x)^2}N$$

Como está em equilíbrio

$F_{12} = F_{23}$

$$\frac{324\times10^{-3}}{x^2} = \frac{9\times10^{-1}}{(9\times10^{-2}-x)^2}$$

$x \cong 3{,}38\ cm$

Resposta: C

09. Início:

$$F_1 = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{27K}{d^2}$$

Final:

$$F_2 = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{36K}{9d^2} = \frac{4K}{d^2}$$

Com isso teremos:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\frac{4K}{d^2}}{\frac{27K}{d^2}} \Rightarrow F_2 = \frac{4F_1}{27}$$

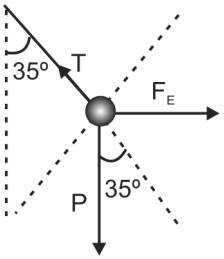
Resposta: B

10. A distância entre as esferas será de:

$D = 2L - 2L\cdot\text{sen}(30)$

$D = L$

$$F_E = \frac{Kq_1q_2}{D^2} = \frac{9\times10^{9}\cdot2\times10^{-6}\cdot2\times10^{-6}}{(20\times10^{-2})^2} = q\times10^{-1}\ N$$



Decompondo as forças

$F_E\cdot\text{sen}\,60 = P\ \text{sen}(30) \Rightarrow P = \sqrt{3}\ F_E$

Para a tração teremos

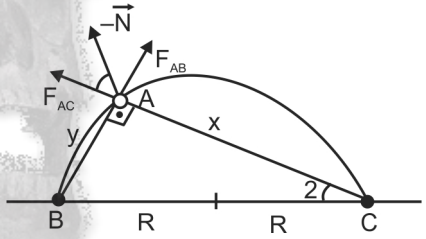
$T = P\cdot\cos(30) + F_E\cdot\cos(60)$

$$T = \sqrt{3}\ F_E\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + F_E\cdot\frac{1}{2}$$

$T = 1{,}8\ N$

Resposta: D

11.



$$Tg\alpha = \frac{F_{AB}}{F_{AC}}$$

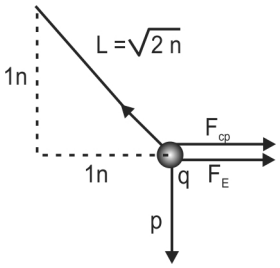
$$Tg\alpha = \frac{\frac{Kqq_B}{y^2}}{\frac{Kqq_C}{x^2}} = \frac{8\times10^{-6}}{64\times10^{-6}}\cdot\underbrace{\frac{x^2}{y^2}}_{\frac{1}{tg^2\alpha}}$$

$tg^3\alpha = 0{,}125$

$tg\alpha = 0{,}5$

Resposta: A

12.



$$P = nq = 0,6 \cdot 10 = 6\ N$$

$$F_E = \frac{Kqq}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \cdot q^2}{2^2} =$$

$$F_E = 2,25 \times 10^9 q^2 N$$

$$F_{cp} = nw^2R = 0,6 \cdot 4,1$$
$$F_{cp} = 2,4\ N$$

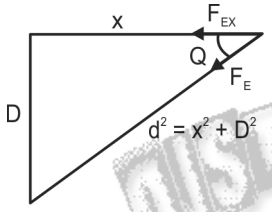
$$P \cdot \cancel{sen(45)} = F_{cp} \cdot \cancel{sen(45)} + F_E \cdot \cancel{sen(45)}$$

$$6 = 2,25 \times 10^9 q^2 + 2,4$$

$$q = 40 \times 10^{-6} = 40\ \mu c$$

Resposta: A

13.



$$F_{EX} = F \cdot \cos Q \therefore F_{EX} = \frac{KQq}{d^2} \cdot \frac{x}{d}$$
$$F_{EX} = \frac{KQq}{d^3} \cdot x \therefore F_{EX} = \frac{KQqx}{(x^2 + D^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Como $\frac{x}{D} >> 1$, para $x^2 + D^2$, podemos considerar x desprezível

.

$$F_{EX} = \underbrace{\frac{KQq}{D^3}}_{K}, x = \frac{9 \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-5} \cdot 3 \times 10^{-6}}{3^3} \cdot x = 2 \times 10^{-2} xN$$

Substituindo na fórmula do período, teremos:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{8 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-2}}} = 4\pi s$$

$$w = \frac{2\pi}{T} \therefore w = \frac{1}{2}\ rad/s$$

Resposta: C

14. Conservação de energia:

$$\frac{1}{2} m V_D^2 = mgR \therefore V_D^2 = 2g\ R$$

Dinâmica circular:

$$N - mg - \frac{KqQ}{R^2} = m\frac{V_D^2}{R}$$

$$N = +mg + \frac{KqQ}{R^2} + m\frac{\cancel{V_D^2}}{R}$$

$$N = 3\ mg + \frac{KqQ}{R^2}$$

$$N = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10 + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-1})^2}$$

$$\boxed{N = 0,4\ N}$$

Resposta: B

15. A força elétrica será dada por

$$F = \frac{K(Q - q) \cdot q}{\alpha^2}$$
$$F = \frac{K}{d^2}(-q^2 + Qq)$$

Assim F depende de q na forma quadrática $f(q) = -q^2 + Qq$. Para maximizarmos a interação, devemos buscar o vértice. Logo

$$q = -\frac{Q}{2(-1)} \therefore \frac{Q}{q} = 2$$

Resposta: A

DIGITADORA.: VICENTINA – REVISORA.: SHERYDA
OSG.: 047.709 – 161396/22